

การคาดการณ์ปริมาณฝนตามระดับการใช้ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ในพื้นที่เขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนลำปาว PREDICTION OF RAINFALL BASED ON NEW EMISSION SCENARIOS IN UBOLRATANA DAM AND LAMPAO DAM AREAS

หริส ประสารฉ่ำ^{1*}, วินัย เขาวนวิวัฒน์²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น

² สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author address: haris.pr@rmuti.ac.th

บทคัดย่อ

การคาดการณ์ปริมาณฝนตามระดับความเข้มข้นของก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่มีความสำคัญต่อการวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำในระดับภูมิภาค การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฝนในพื้นที่เขื่อนอุบลรัตน์และอ่างเก็บน้ำลำปาวในพื้นที่ลุ่มน้ำชีใน อนาคต โดยใช้ข้อมูลจากแบบจำลองภูมิอากาศโลกจำนวน 4 แบบจำลอง ได้แก่ HadGEM2 AO RA, HadGEM2 AO RegCM, HadGEM2 AO YSU RSM และ CORDEX SEA MPI ESM MR ภายใต้กรณีคาดการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 ระหว่าง พ.ศ.2563-2593 นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูล ปริมาณฝนปีฐานระหว่าง พ.ศ.2549-2559 ผลการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในอนาคตในพื้นที่อ่างเก็บน้ำทั้ง 2 แห่งมีทิศทางและ แนวโน้มที่คล้ายคลึงกัน ปริมาณฝนจากกรณี RCP4.5 แสดงค่าเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1,044.2 มม.-1,441.3 มม. และกรณี RCP8.5 มีค่าระหว่าง 1,100.3 มม.-1,320.7 มม. ซึ่งในภาพรวมมีค่าสูงกว่าปีฐานระหว่าง 3.2%-4.5% สำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงรายเดือนและฤดูกาล พบว่า ในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-ตุลาคม) กลุ่ม HadGEM2 AO แสดงค่าต่ำกว่าปีฐาน ในทางตรงกันข้าม ในช่วงฤดูน้ำน้อย (พฤศจิกายน-กรกฎาคม) ปริมาณ ฝนในอนาคตมีค่าสูงกว่าปีฐาน ซึ่งมีเฉพาะ CORDEX SEA MPI ESM MR เท่านั้นที่แสดงค่าปริมาณฝนรายเดือนสอดคล้องกับข้อมูลปีฐานในทั้ง 2 กรณีคาดการณ์ ผลของการศึกษานี้คาดว่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อเตรียมการรับมือต่อสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและ บูรณาการร่วมกับการบริหารจัดการอ่างเก็บน้ำในอนาคต

คำสำคัญ: การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ, แบบจำลองภูมิอากาศโลก, ปริมาณฝน, อ่างเก็บน้ำ, ลุ่มน้ำชี

Abstract

Projections of rainfall based on the Representative Concentration Pathways (RCP) are important for water resource management planning in local region. This study aimed to assess future rainfall trends covering the Ubolratana Dam and Lam Pao Dam in the Chi Basin, using data from four Global Climate Models (GCMs): HadGEM2 AO RA, HadGEM2 AO RegCM, HadGEM2 AO YSU RSM and CORDEX SEA MPI ESM MR under the scenario cases RCP4.5 and RCP8.5 between 2020-2050, compared with the observed rainfall data between 2006-2016. The results of the study indicated that future rainfall changes in the two reservoir areas showed similar directions and trends. Future rainfall from the RCP4.5 shows the annual average of 1,044.2-1,441.3 mm, and in the RCP8.5 is between 1,100.3-1,320.7 mm, which overall is higher than the baseline year between 3.2%-4.5%. For the analysis on monthly and seasonal changes, it was found that during the rainy season (August-October) the HadGEM2 AO group was lower than the baseline year. In contrast, during the low season (November-July), the rainfall was higher than the baseline year, with only CORDEX SEA MPI ESM MR showing the monthly rainfall values consistent with the baseline year data in both scenario cases. The results of this study are expected to be applied to prepare for the response to climate change situations, integrated with future reservoir management.

Keywords: Climate change, Global Climate Model, Rainfall, Reservoir, Chi Basin

1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้พลังงานและอุตสาหกรรมจำนวนมากทำให้เกิดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศที่เพิ่มมากขึ้นในเวลาอันรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ตามการรายงานของ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) พบว่า หลายพื้นที่ที่มีปริมาณฝนน้อยหรือ

บางพื้นที่ที่มีปริมาณฝนมาก ส่งผลต่อการเกิดปัญหาภัยแล้ง-น้ำท่วม ดังนั้นการคาดการณ์ตัวแปรที่สำคัญภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ จึงเป็นสิ่งที่มีความเพื่อรับมือต่อปัญหาและบรรเทาความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นในอนาคต IPCC ได้ทำการพัฒนาภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ที่เรียกว่า Representative Concentration Pathways (RCPs) [1] เพื่อใช้ควบคู่กับแบบจำลองภูมิอากาศโลก

(General Circulation Models, GCMs) ที่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณ (Bias corrected) เป็นที่เรียบร้อยแล้ว [2] ซึ่งมียุทธศาสตร์เพื่อคาดการณ์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต โดยได้แบ่งสถานการณ์จำลองเป็น 4 รูปแบบ ประกอบด้วย RCP2.6 RCP4.5 RCP6 และ RCP8.5 [1] สำหรับในประเทศไทยนั้น ได้มีหน่วยงานที่นำข้อมูลของ GCM มาพัฒนาและเผยแพร่เพื่อการศึกษาคือ สถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) หรือ สสน. [3]

เขื่อนอุบลรัตน์และเขื่อนลำปาวเป็นเขื่อนเอนกประสงค์ขนาดใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำชีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นแหล่งน้ำผิวดินที่ทำหน้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้า การชลประทานและการเกษตร การประมง และด้านการบรรเทาอุทกภัยครอบคลุมพื้นที่หลายจังหวัด โดยคาดการณ์ว่าแหล่งน้ำที่สำคัญทั้ง 2 แห่งนี้จะได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตบริเวณพื้นที่ลุ่มน้ำชีด้านต้นน้ำและครอบคลุมอ่างเก็บน้ำทั้ง 2 แห่ง ซึ่งเป็นพื้นที่ ๆ มีลำน้ำหลายสายที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ เทียบกับข้อมูลพื้นฐานระหว่าง พ.ศ.2549-2559 โดยใช้ข้อมูลสภาพอากาศในอนาคตจาก GCMs ในตระกูล CMIP5 กรณีคาดการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 จำนวน 4 แบบจำลอง ได้แก่ HadGEM2 AO RA, HadGEM2 AO RegCM, HadGEM2 AO YSU RSM และ CORDEX SEA MPI ESM MR ที่ได้ผ่านการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี Gamma-Gamma Transformation ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจาก สสน. ผลที่ได้รับจากการศึกษานี้คาดว่าจะจะเป็นข้อมูลที่ทำให้มองเห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนที่หลากหลายรูปแบบในพื้นที่เหนืออ่างเก็บน้ำซึ่งส่งผลต่อปริมาณน้ำท่าโดยตรงนำไปสู่การใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยา เช่น ปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ รวมถึงการปรับตัวและวางแผนการบริหารจัดการน้ำในสถานการณ์น้ำน้อยหรือน้ำมากในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์ให้แก่หน่วยงานที่มีหน้าที่ในการจัดการทรัพยากรน้ำและวางแผนการใช้น้ำในพื้นที่ศึกษาต่อไป

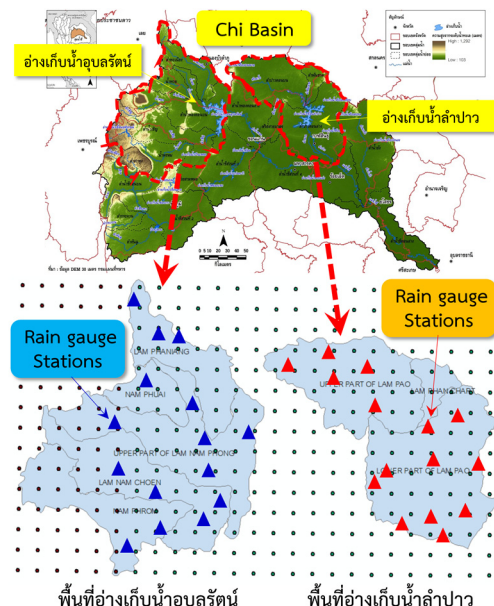
2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1. พื้นที่ศึกษา

เขื่อนอุบลรัตน์เป็นเขื่อนเอนกประสงค์ขนาดใหญ่แห่งแรกในพื้นที่ลุ่มน้ำชีและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทำหน้าที่จัดสรรน้ำสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า ชลประทาน การอุปโภค-บริโภค ตั้งอยู่ในพื้นที่ อ.อุบลรัตน์ จ.ขอนแก่น มีขนาดเก็บกักน้ำระดับปกติ 2,431.3 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ยรายปี 2,470 ล้าน ลบ.ม. สำหรับเขื่อนลำปาวมีที่ตั้งอยู่ใน อ.เมือง จ.กาฬสินธุ์ ก่อสร้างเพื่อบรรเทาอุทกภัยและการเกษตรโดยเฉพาะ มีขนาดเก็บกักน้ำระดับปกติ 1,980 ล้าน ลบ.ม. ปริมาณน้ำท่าไหลเข้าเฉลี่ยรายปี

1,900 ล้าน ลบ.ม. เชื่อนทั้ง 2 แห่งมีการจัดสรรน้ำสนับสนุนพื้นที่ชลประทานประมาณ 264,000 ไร่ และ 314,000 ไร่ ตามลำดับ สำหรับมูลเหตุที่เลือกนำพื้นที่อ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่งมาใช้เป็นพื้นที่ศึกษา เนื่องจากในช่วงระหว่าง พ.ศ.2554 หลังเหตุการณ์มหาอุทกภัย พื้นที่ลุ่มน้ำชีส่วนใหญ่มีปริมาณฝนน้ำท่าต่ำกว่าค่าเฉลี่ยอ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่งมีปริมาณน้ำใช้การอย่างจำกัด และเมื่อ พ.ศ. 2562 พายุ “โพดุล” ส่งผลทำให้ปริมาณน้ำใช้การในอ่างเก็บน้ำลำปาวมีปริมาณน้ำสะสมอยู่ในสภาวะปกติ ในทางตรงกันข้าม บริเวณพื้นที่ต้นน้ำของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ กลับพบว่าปริมาณฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยปกติอย่างมาก ส่งผลทำให้ ณ เดือนตุลาคม พ.ศ.2562 ปริมาณน้ำใช้การของอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์เหลือเพียงร้อยละ 1 (ประมาณ 20 ล้าน ลบ.ม.) สำหรับที่ตั้งของเขื่อนแสดงได้ในรูปที่ 1

ข้อมูลปริมาณฝนได้พิจารณาพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยด้านเหนือเขื่อนและพื้นที่โดยรอบ เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ทำให้เกิดปริมาณน้ำท่าไหลเข้าสู่อ่างเก็บน้ำ สำหรับพื้นที่เหนือเขื่อนอุบลรัตน์ที่ได้เลือกมาใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วย 5 ลุ่มน้ำคือ ลำพะเนียง ลำน้ำพวย ลำน้ำพองตอนบน ลำน้ำเชิญ และลำน้ำพรม มีพื้นที่รวมประมาณ 12,025 ตร.กม. โดยมีตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน 15 สถานี พื้นที่ลุ่มน้ำย่อยที่ครอบคลุมบริเวณโดยรอบของเขื่อนลำปาวประกอบด้วย 3 ลุ่มน้ำ ได้แก่ ลำน้ำปาวตอนบน ลำน้ำปาวตอนล่าง และลำพันชาด มีพื้นที่รวมประมาณ 8,163 ตร.กม. โดยมีตำแหน่งสถานีวัดน้ำฝน 15 สถานี ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตำแหน่งอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ อ่างเก็บน้ำลำปาว และสถานีตรวจวัดน้ำฝน

2.2. แบบจำลองสภาพภูมิอากาศระดับ GCM

2.2.1. แบบจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศระดับโลก

แบบจำลองภูมิอากาศระดับโลก (General Circulation Models, GCM) เป็นเครื่องมือที่สำคัญในการศึกษาถึงคุณลักษณะและคาดการณ์แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต ในปัจจุบันโปรแกรมการวิจัยภูมิอากาศโลกขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้มีการรวบรวมข้อมูลที่ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศโลกในปัจจุบันภายใต้ชื่อ Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) [4] โดยมีผู้วิจัยในประเทศไทยได้นำมาประยุกต์ร่วมกับการศึกษาด้านทรัพยากรน้ำในหลาย ๆ ด้าน เช่น การวิเคราะห์ปริมาณฝนสูงสุด ดัชนีภัยแล้ง อุทกภัย และความต้องการน้ำของพืชเกษตรกรรม เป็นต้น [5-6] สำหรับในการศึกษานี้ผู้วิจัยที่เลือกแบบจำลอง CMIP5 ประกอบด้วยตระกูล Hadley centre Global Environmental Model version 2 case Atmosphere-Ocean (HadGEM2 AO) 3 ประเภท ได้แก่ HadGEM2 AO RA, HadGEM2 AO RegCM, HadGEM2 AO YSU RSM และตระกูล Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment (CORDEX) 1 ประเภท คือ CORDEX SEA MPI ESM MR สำหรับคุณสมบัติเฉพาะของแบบจำลอง GCM ทั้ง 4 ประเภทสามารถแสดงได้ในตารางที่ 1 อย่างไรก็ตาม เพื่อความสะดวกในการประยุกต์ใช้งาน สสส. จึงได้ดำเนินการปรับปรุงรูปแบบของข้อมูล โดยการ downscale เป็นแบบกริดที่มีขนาด 5x5 ตารางกิโลเมตร (รูปที่ 1)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเฉพาะของแบบจำลอง GCM

แบบจำลอง	ความละเอียดตั้งต้น
HadGEM2 AO RA	0.44°x0.44°
HadGEM2 AO RegCM	50x50 km ²
HadGEM2 AO YSU RSM	50x50 km ²
CORDEX SEA MPI ESM MR	25x25 km ²

2.2.2. ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่

ภาพฉายเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคตที่ใช้ใน CMIP5 ได้กำหนดเป็นแนวโน้มปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซเรือนกระจก (Radiative forcing) ในปี ค.ศ.2100 สัมพันธ์กับก่อนยุคอุตสาหกรรมโดยมีการคำนึงถึงนโยบายที่เกี่ยวข้องได้กำหนด RCPs 4 กรณีคาดการณ์ ได้แก่ RCP8.5 RCP6 RCP4.5 และ RCP2.6 ในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาใช้ 2 กรณีคาดการณ์ ได้แก่ RCP8.5 และ RCP4.5 เนื่องจากเป็นชุดข้อมูลที่ สสส. นำมาปรับปรุงข้อบกพร่องจากในอดีตอย่างต่อเนื่องให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น และการปรับลดความคาดเคลื่อนจนกระทั่งมีความแม่นยำใกล้เคียง

กับข้อมูลจากสถานีตรวจวัด [7] สำหรับความหมายของ RCP8.5 หมายถึงแนวทางที่ไม่มีมาตรการหรือนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก โดยคิดการแผ่รังสี 8.5 วัตต์ต่อ ตร.ม. ซึ่งถือว่าเป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในอัตราที่สูงและส่งผลกระทบต่อวงกว้าง และ RCP4.5 หมายถึงแนวทางที่มีการกำหนดมาตรการและนโยบายควบคุมในการลดก๊าซเรือนกระจก รวมถึงมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย โดยคิดการแผ่รังสี 4.5 วัตต์ต่อ ตร.ม. และมีปริมาณก๊าซเรือนกระจกสูงสุดในปี ค.ศ.2100 จากนั้นจะอยู่ในระดับคงที่ ซึ่งถือว่าเป็นแนวทางที่มีความสอดคล้องกับความพยายามในการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกในปัจจุบัน

2.2.3. การปรับลดความคลาดเคลื่อนข้อมูลของ GCM

การปรับลดความคลาดเคลื่อนปริมาณฝนจาก GCM ที่นำมาใช้ในการศึกษานี้คือวิธี Gamma-Gamma (GG) transformation ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทยและภูมิภาคอื่น ๆ [8-9] แนวคิดของวิธีนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการปรับแก้ความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความถี่และปริมาณฝนระหว่างข้อมูลจาก GCM และสถานีตรวจวัดในพื้นฐาน โดยสร้างการกระจายแบบสะสม (Cumulative distribution function, CDF) นำไปสู่การสร้างพารามิเตอร์ Gamma ที่เหมาะสม โดยมีฟังก์ชันการทำงานและพารามิเตอร์ที่สำคัญดังแสดงในสมการที่ (1) – (4)

$$F(x; \alpha, \beta) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} \exp\left(-\frac{x}{\beta}\right); x \geq x_{Trunc} \quad (1)$$

$$F(x; \alpha, \beta) = \int_{x_{Trunc}}^x f(t) dt \quad (2)$$

$$F(x_{GCM}; \alpha, \beta|_{GCM}) \Rightarrow F(x_{His}; \alpha, \beta|_{His}) \quad (3)$$

$$x'_{GCM} = F^{-1}\{F(X_{His}; \alpha, \beta|_{His})\} \quad (4)$$

เมื่อ α คือรูปร่าง และ β คือขนาดของข้อมูลจาก GCM และสถานีตรวจวัดพื้นฐาน ณ ตำแหน่งที่ถูกคัดเลือกนำมาจัดให้อยู่ในรูปของการกระจายแบบ Gamma X_{Trunc} คือ ปริมาณฝนจาก GCM ที่ผ่านขั้นตอน CDF ด้วยพารามิเตอร์ Gamma ซึ่งจะถูกพัฒนาขึ้นในสมการที่ (2) สำหรับสมการที่ (3) ค่า α และ β จะถูกคำนวณโดยการประยุกต์ใช้วิธีการประมาณค่าความเป็นไปได้สูงสุด (Maximum likelihood estimation method) เพื่อนำไปคำนวณปริมาณฝนรายวันจาก GCM ที่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนด้วยการคำนวณแบบผกผัน (Inverse) ดังแสดงในสมการที่ (4)

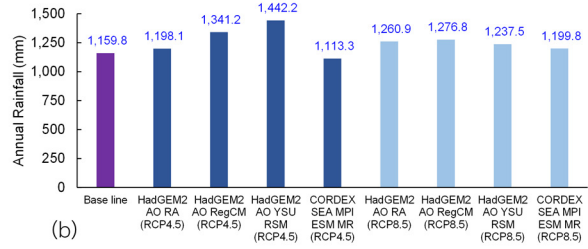
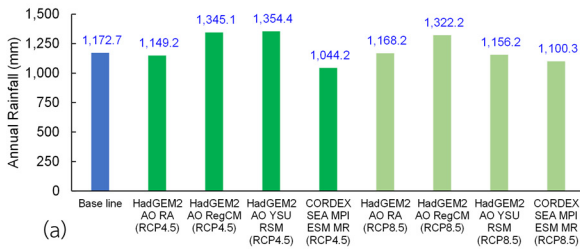
3. ผลการศึกษา

3.1. ปริมาณฝนปีฐานจากสถานีตรวจวัดและ GCM

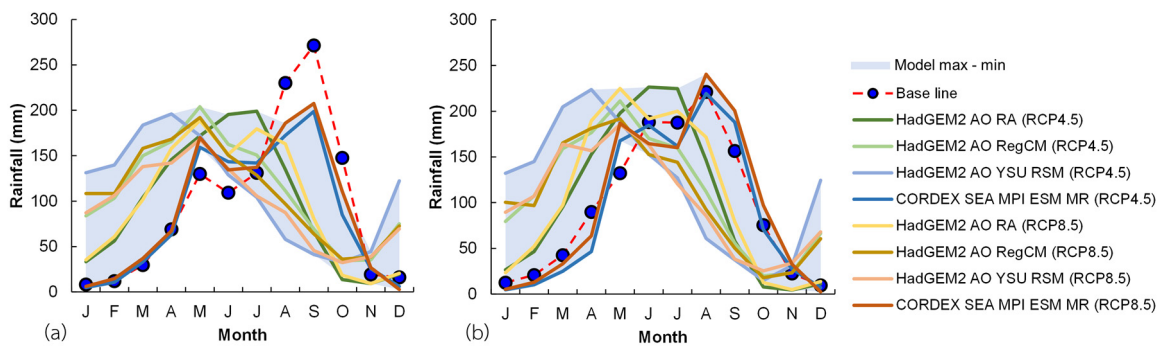
ผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนปีฐานจากสถานีตรวจวัดและ GCM

ระหว่าง พ.ศ.2549-2559 ดำเนินการได้โดยการรวบรวมข้อมูลรายวันจากจากสถานีตรวจวัดของกรมอุตุนิยมวิทยาจำนวน 30 สถานี โดยแบ่งเป็นพื้นที่ลุ่มน้ำย่อยครอบคลุมบริเวณเหนือพื้นที่ต้นน้ำอ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์จำนวน 15 สถานี และอ่างเก็บน้ำลำปาว 15 สถานี ดังแสดงตำแหน่งในรูปที่ 1 นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลของ GCM ทั้ง 4 ชนิดในกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 ที่ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนด้วยวิธี GG ในช่วงเวลาเดียวกัน โดยพิจารณาตำแหน่งพิกัดกริดที่อยู่ใกล้เคียงกับสถานีตรวจวัดมากที่สุด (รวมทั้งหมด 30 จุด แบ่งเป็นพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ 15 จุด และอ่างเก็บน้ำลำปาว 15 จุด ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 1) ผลการเปรียบเทียบพบว่าเมื่อวิเคราะห์เป็นปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีแยกกรณีสภาพการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์พบว่ากลุ่ม HadGEM2 AO (3 แบบจำลอง) ทั้ง 2 กรณีคาดการณ์แสดงค่าปริมาณฝนสูงกว่าปีฐาน (ปีฐาน 1,172.7 มม.) สูงกว่า 9.4% และ 3.6% สำหรับ CORDEX แสดงค่าต่ำกว่า 11% และ 6.2% ตามลำดับ พื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว (ปีฐาน 1,159.8 มม.) กลุ่ม HadGEM2 AO สูงกว่า 14.4% และ 8.5% CODEX กรณี RCP4.5 ต่ำกว่า 4% และกรณี RCP8.5 สูงกว่า 3.4% ตามลำดับ ดังแสดงใน

รูปที่ 2 เมื่อพิจารณาเป็นรายเดือนพบว่าในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์กลุ่ม HadGEM2 AO แสดงปริมาณฝนต่ำกว่าปีฐานระหว่างฤดูฝน (สิงหาคม-ตุลาคม) กรณี RCP4.5 และ RCP8.5 เท่ากับ 71.1% และ 67.9% ตามลำดับ ช่วงฤดูน้ำน้อย (พฤศจิกายน-กรกฎาคม) แสดงค่าสูงปีฐาน 109.1% และ 92.3% ตามลำดับ ในขณะที่ CORDEX แสดงค่าต่ำกว่าปีฐานทั้ง 2 กรณีคาดการณ์ ในช่วงฤดูฝน 29.7% และ 22.3% ตามลำดับ ในช่วงฤดูน้ำน้อยแสดงค่าสูงกว่าปีฐานเท่ากับ 12.3% และ 13.8% ตามลำดับ สำหรับพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาวพบว่าในช่วงฤดูฝน กลุ่ม HadGEM2 AO ให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าปีฐาน 62.3% และ 57.8% ในขณะที่ CODEX มีค่าสูงกว่าปีฐานเล็กน้อยคือ 5.4% และ 18.7% ส่วนผลลัพธ์ของแบบจำลองในช่วงฤดูน้ำน้อยนั้นยังคงแสดงค่าที่สูงกว่าปีฐานเท่ากับ 63.6% และ 51.1% อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์ที่ได้จาก CODEX ในช่วงฤดูน้ำน้อยแสดงค่าต่ำกว่าปีฐานเพียงเล็กน้อยคือ 10.15% และ 6.4% ตามลำดับ ซึ่งจะแตกต่างจากพื้นที่อุบลรัตน์ที่แสดงค่าสูงกว่า ผลการเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนระหว่างค่าเฉลี่ยจากสถานีตรวจวัดและแบบจำลอง GCM สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีช่วงปีฐานระหว่างสถานีตรวจวัดและแบบจำลองกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 (a) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และ (b) อ่างเก็บน้ำลำปาว



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนช่วงปีฐานระหว่างสถานีตรวจวัดและแบบจำลองช่วงปีฐานกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 (a) อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ และ (b) อ่างเก็บน้ำลำปาว

3.2. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในอนาคต

การวิเคราะห์ปริมาณฝนคาดการณ์ในอนาคต จากแบบจำลอง

GCM จำนวน 4 แบบจำลอง ในกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 โดยเปรียบเทียบข้อมูลปริมาณฝนของสถานีวัดน้ำฝนจากกรมอุตุนิยมวิทยา พ.ศ 2549-2559 (10 ปี) และข้อมูลจากแบบจำลอง

ในอนาคตระหว่าง พ.ศ.2563-2593 (31 ปี) มีการแสดงผลลัพธ์เป็น ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีเรียงลำดับตามอนุกรมเวลาจาก พ.ศ.2549-2593 พิจารณาแยกตามกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 มีวัตถุประสงค์ เพื่อต้องการวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในระยะยาวเทียบกับปีฐาน

3.2.1. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในอนาคตของพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในช่วงอนาคตระหว่าง พ.ศ.2563-2593 จาก GCM ทั้ง 4 ประเภทในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (รูปที่ 4) พิจารณาตามกรณี RCP4.5 พบว่ากลุ่ม HadGEM2 AO แสดงแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในอนาคตจากมากไปหาน้อย คือ HadGEM2 AO YSU RSM, HadGEM2 AO RA และ HadGEM2 AO RegCM ตามลำดับ ในขณะที่ CORDEX SEA MPI ESM MR แสดงแนวโน้มลดต่ำลงเล็กน้อยในอนาคต อย่างไรก็ตามเมื่อประเมินเป็นค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 31 ปีในอนาคตเทียบกับปีฐาน (1,172.7 มม.) พบว่า HadGEM2 AO YSU RSM และ HadGEM2 AO RegCM แสดงปริมาณฝน 1,353.6 มม. และ 1346.6 มม. ซึ่งสูงกว่าปีฐาน 15.6% และ 15.0% ตามลำดับ ในขณะที่ HadGEM2 AO RA และ CORDEX SEA MPI ESM MR แสดงค่า 1,149.3 และ 1,044.2 มม. ซึ่งต่ำกว่าปีฐาน 1.9% และ 10.8% ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเป็นค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 4 แบบจำลองนั้น พบว่ากรณี RCP4.5 มีปริมาณฝนรายปีเฉลี่ย 1,223.4 มม. หรือสูงกว่าปีฐานคิดเป็น 4.5%

สำหรับกรณี RCP8.5 พบว่าปริมาณฝนเฉลี่ยใกล้เคียงกับฐานระหว่าง 0.3%-12.8% โดยมีค่าเฉลี่ยรวมจากทั้ง 4 แบบจำลองเท่ากับ 1,186.0 มม. หรือต่ำกว่าปีฐาน 1.3% แบบจำลองที่แสดงแนวโน้มการเพิ่มขึ้นในอนาคตเรียงลำดับจากมากไปหาน้อยคือ HadGEM2 AO YSU RSM และ HadGEM2 AO RegCM ในขณะที่ HadGEM2 AO RA และ CORDEX SEA MPI ESM MR มีแนวโน้มของปริมาณฝนลดลงในอนาคต แบบจำลองที่ให้ค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรวมในอนาคตสูงที่สุดคือ HadGEM2 AO RegCM คือ 1,320.7 มม. หรือสูงกว่าปีฐาน 12.8% สำหรับ HadGEM2 AO RA, HadGEM2 AO YSU RSM และ CORDEX SEA MPI ESM MR แสดงผลต่ำกว่าปีฐานเท่ากับ 1,167.6 มม. 1,155.4 มม. และ 1,100.3 มม. หรือคิดเป็น 0.3% 1.4% และ 6.1% ตามลำดับ

3.2.2. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในอนาคตของพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว

แนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีในอนาคตในพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว (รูปที่ 5) เมื่อเปรียบเทียบกับปีฐาน (1,235.2 มม.) พบว่าทั้งกรณี RCP4.5 และ RCP8.5 มีค่าสูงกว่าเล็กน้อยคือ 1,274.1 มม.

และ 1,242.6 มม. หรือ 3.2% และ 0.6% ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในกรณี RCP4.5 ที่ส่งผลให้เกิดปริมาณฝนเพิ่มขึ้นในอนาคตมากที่สุดคือ HadGEM2 AO YSU RSM ตามด้วย HadGEM2 AO RA และ HadGEM2 AO RegCM ตามลำดับ ในขณะที่ CORDEX SEA MPI ESM MR แสดงแนวโน้มลดลงในอนาคตสอดคล้องกับค่าเฉลี่ยรวมของแต่ละแบบจำลองเทียบกับปีฐาน HadGEM2 AO YSU RSM แสดงค่ามากที่สุดคือ 1,441.3 มม. โดยลำดับถัดไปคือ HadGEM2 AO RegCM เท่ากับ 1,343.7 มม. หรือแตกต่างกับปีฐาน 16.7% และ 8.8% ตามลำดับ แบบจำลองที่แสดงค่าเฉลี่ยต่ำกว่าปีฐานคือ CORDEX SEA MPI ESM MR มีค่า 1,113.3 มม. และ HadGEM2 AO RA มีค่า 1,198.2 หรือ 9.9% และ 3.0% ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาในกรณี RCP8.5 พบว่าแบบจำลองทั้ง 4 ประเภท มีความแตกต่างจากค่าเฉลี่ยปริมาณฝนรายปีของปีฐานระหว่าง 0%-3.9% หรือมีผลลัพธ์ปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1,235.0 มม. – 1,275.1 มม. โดย HadGEM2 AO RegCM แสดงค่าสูงสุดเท่ากับ 1,275.1 มม. หรือ 3.9% และ HadGEM2 AO YSU RSM แสดงค่าใกล้เคียงกับปีฐานคือ 1,235.0 มม. สำหรับแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตพบว่าปริมาณฝนจาก HadGEM2 AO YSU RSM มีโอกาสเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยมี HadGEM2 AO RegCM เป็นลำดับถัดมา ในขณะที่ CORDEX SEA MPI ESM MR และ HadGEM2 AO RA แสดงแนวโน้มที่ลดลงในอนาคต ตามลำดับ

3.3. ปริมาณฝนรายเดือนในอนาคต

การวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนในช่วงอนาคตเทียบกับปีฐานเป็นการแยกการประเมินแต่ละแบบจำลอง มีเป้าหมายคือ ต้องการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในอนาคตให้สอดคล้องตามฤดูกาล [10] ได้แก่ ช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-ตุลาคม) และช่วงหน้าหนาวหรือฤดูแล้ง (พฤศจิกายน-กรกฎาคม) นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบถึงผลความแตกต่างของทั้ง 2 กรณีคาดการณ์เมื่อเทียบกับปีฐาน ผลการวิเคราะห์มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตของพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์

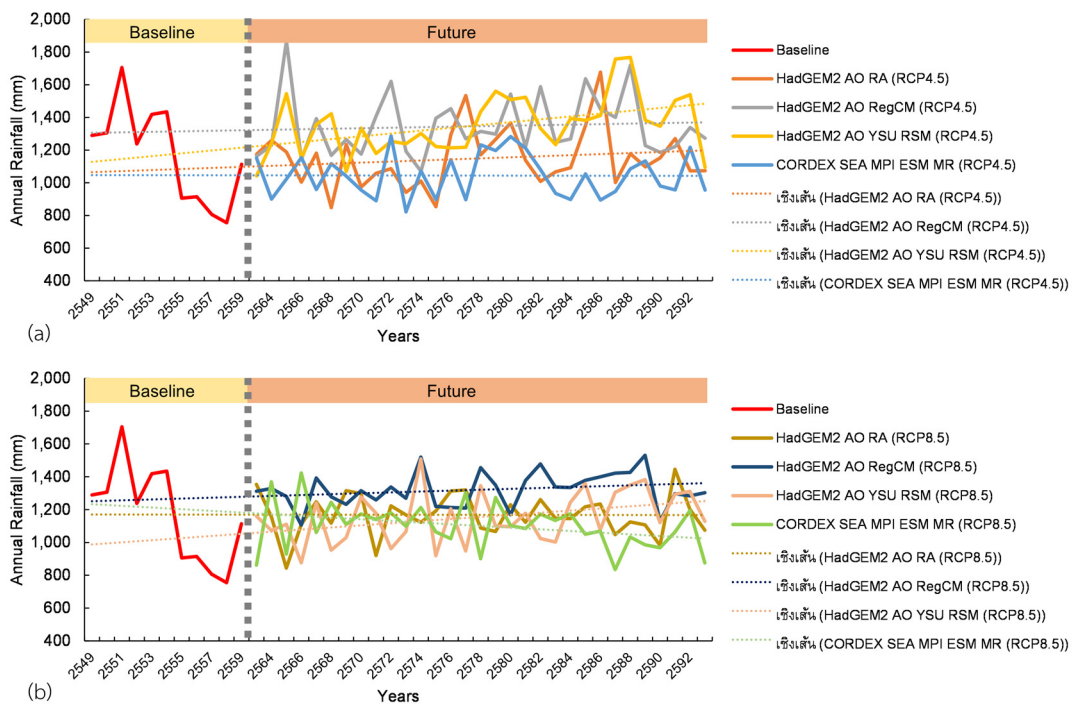
จากการวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนในอนาคตระหว่าง พ.ศ. 2563-2593 ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์จากแบบจำลองกลุ่ม HadGEM2 AO ทั้ง 3 ประเภท พบว่าในช่วงฤดูน้ำน้อย แบบจำลองแสดงผลลัพธ์ที่สูงกว่าปีฐานซึ่งพบได้ในทั้ง RCP4.5 และ RCP8.5 โดยเฉพาะระหว่างเดือนธันวาคม-กรกฎาคม ซึ่งแบบจำลอง HadGEM2 AO YSU RSM ให้ผลที่แตกต่างมากที่สุดระหว่าง 89.1%-133.4% รองลงมาคือ HadGEM2 AO RegCM และ HadGEM2 AO RA โดยแสดงความแตกต่างระหว่าง 114.8%-

115.7% และ 72.9%-78.3% ตามลำดับ ในช่วงฤดูฝนพบว่าแบบจำลองเรียงลำดับการให้ผลลัพธ์ที่ต่ำกว่าปีฐานเช่นเดียวกันกับในช่วงฤดูแล้งโดยแสดงค่าระหว่าง 74.5%-79.5%, 66.9%-69.7% และ 59.6%-66.9% ตามลำดับ ในขณะที่ CORDEX SEA MPI ESM MR แสดงค่าที่สอดคล้องกับปีฐานมากที่สุดในทุก 2 กรณี โดยในช่วงฤดูน้ำน้อยมีความแตกต่างระหว่าง 12.3%-13.7% และฤดูฝนอยู่ระหว่าง 22.3%-29.7% ทั้งนี้ผลจาก RCP4.5 ชี้ให้เห็นว่ามีปริมาณฝนรายเดือนสูงกว่า RCP8.5 รายเดือนระหว่าง 0.7%-19.5% และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.6% การเปรียบเทียบปริมาณฝนรายเดือนในอนาคตระหว่างข้อมูลปีฐานและ GCM ทั้ง 4 ประเภทได้แสดงในรูปแบบที่ 6(a)-6(d)

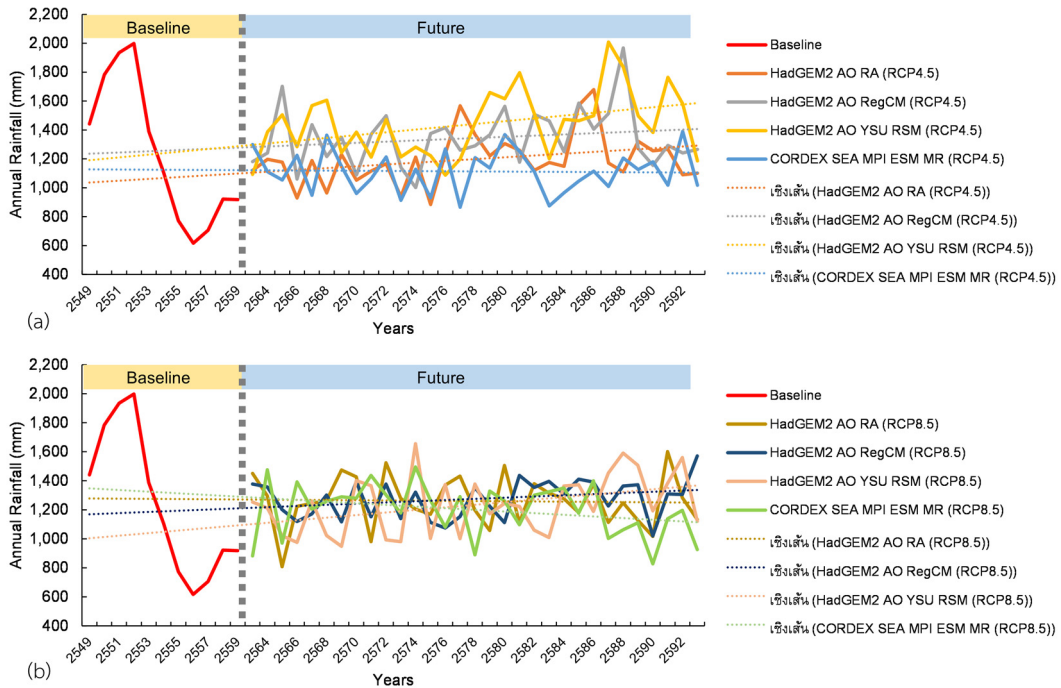
3.3.2. ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในอนาคตในพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว

เมื่อพิจารณาถึงผลการวิเคราะห์ปริมาณฝนรายเดือนในอนาคตบริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาวในภาพรวมดังแสดงในรูปแบบที่ 7(a)-7(d)

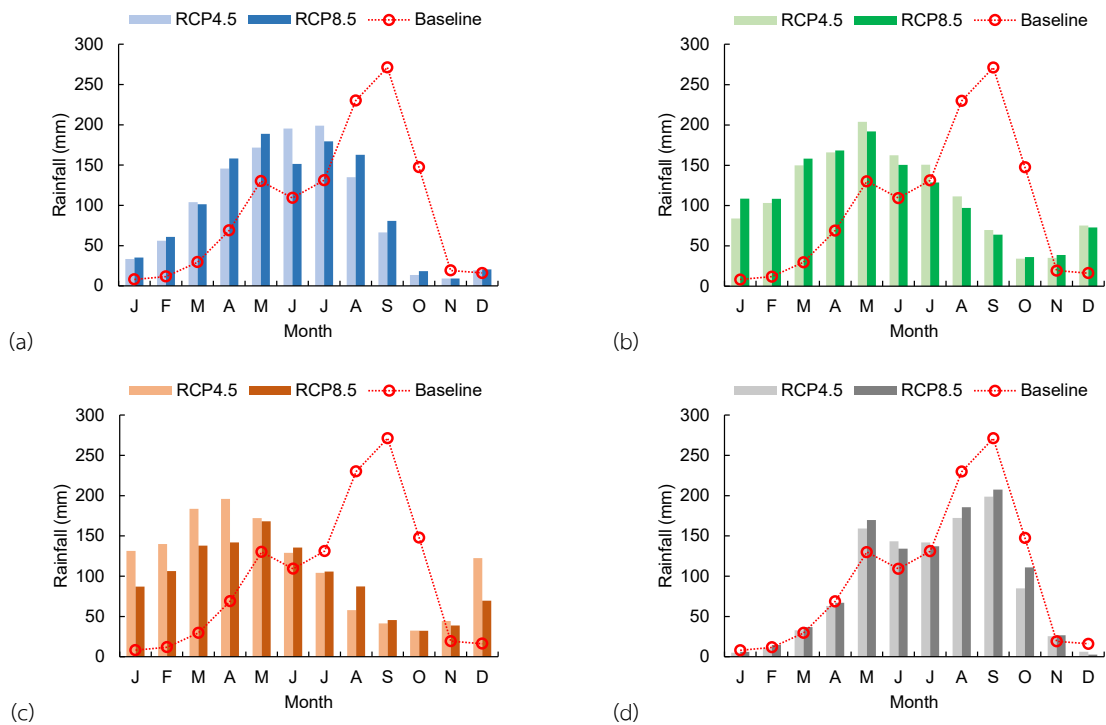
แล้วนั้น พบว่ามีความสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่วิเคราะห์ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ดังที่ได้แสดงรายละเอียดก่อนหน้านี้ โดยผลลัพธ์จากแบบจำลองกลุ่ม HadGEM2 AO ให้ค่าปริมาณที่สูงในช่วงฤดูแล้งและให้ค่าต่ำลดลงมาในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีความแตกต่างกับข้อมูลปีฐานในช่วงเวลาเดียวกัน โดยที่ HadGEM2 AO YSU RSM ยังคงแสดงผลที่แตกต่างจากปีฐานมากที่สุดสำหรับทั้ง 2 กรณีคาดการณ์โดยในฤดูน้ำน้อยอยู่ระหว่าง 54.0%-88.1% ในฤดูฝนระหว่าง 67.1%-75.0% ลำดับที่สองคือ HadGEM2 AO RegCM ต่อเนื่องด้วย HadGEM2 AO RA โดยแสดงความแตกต่างระหว่าง 39.5%-63.3% ในฤดูน้ำน้อย และ 41.9%-64.6% ในฤดูฝน ตามลำดับ สำหรับ CORDEX SEA MPI ESM MR ยังคงเป็นแบบจำลองที่ให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับปีฐานมากที่สุดในทุก 2 กรณี โดยมีค่าแตกต่างจากปีฐานเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 6.3%-18.7% ตามลำดับ นอกจากนี้กรณี RCP4.5 ยังคงแสดงค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนสูงกว่า RCP8.5 เช่นเดียวกับพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ระหว่าง 1.4%-34.8% หรือมีค่าเฉลี่ยของความแตกต่างเท่ากับ 0.9%



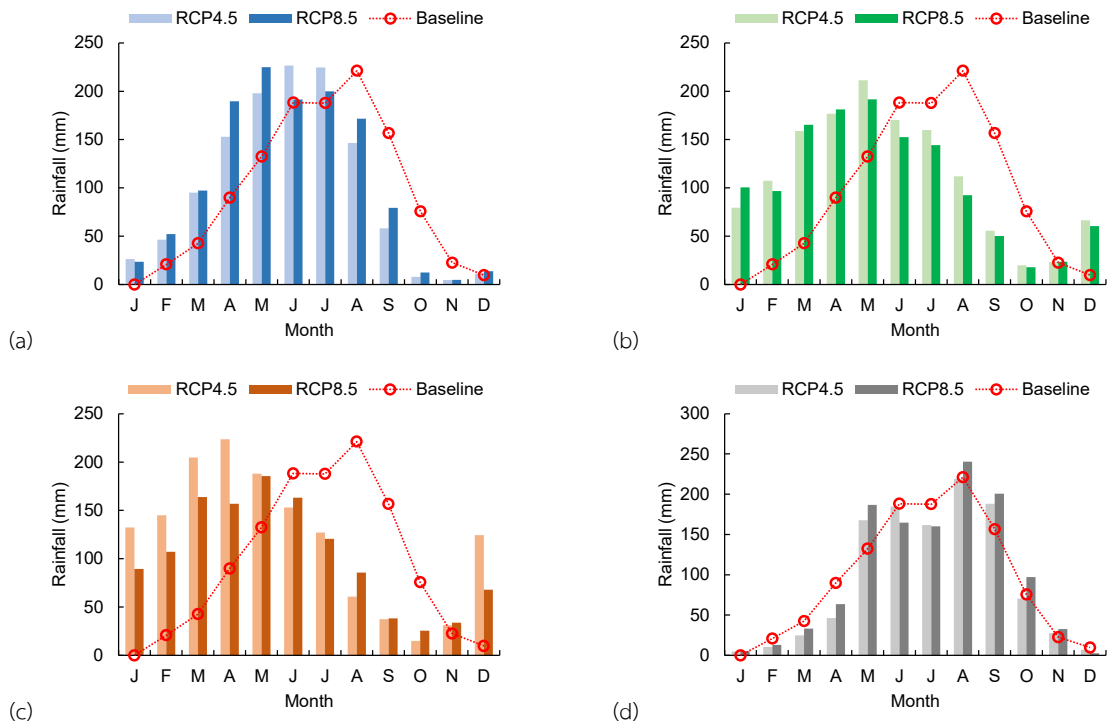
รูปที่ 4 แนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีจากแบบจำลองในปีคาดการณ์บริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (a) RCP4.5 (b) RCP8.5



รูปที่ 5 แนวโน้มปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีจากแบบจำลองในปีคาดการณ์บริเวณพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว (a) RCP4.5 (b) RCP8.5



รูปที่ 6 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองในปีคาดการณ์เทียบกับปีฐานพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์ (a) HadGEM2 AO RA (b) HadGEM2 AO RegCM (c) HadGEM2 AO YSU RSM (d) CORDEX SEA MPI ESM MR



รูปที่ 7 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนจากแบบจำลองในปีคาดการณ์เทียบกับปีฐานพื้นที่อ่างเก็บน้ำลำปาว (a) HadGEM2 AO RA (b) HadGEM2 AO RegCM (c) HadGEM2 AO YSU RSM (d) CORDEX SEA MPI ESM MR

4. สรุปและข้อเสนอแนะ

การคาดการณ์ปริมาณฝนตามระดับการใช้ภาพฉายการปล่อยก๊าซเรือนกระจกแบบใหม่ในพื้นที่อ่างเก็บน้ำอุบลรัตน์และอ่างเก็บน้ำลำปาวด้วยแบบจำลอง GCM 4 ประเภท ที่ได้ผ่านการปรับลดความคลาดเคลื่อนด้วยเทคนิค GG ในกรณีคาดการณ์ RCP4.5 และ RCP8.5 เทียบกับข้อมูลปีฐานระหว่าง พ.ศ.2549-2559 (11 ปี) เมื่อพิจารณาเป็นปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี พบว่าแบบจำลองในกลุ่ม HadGEM2 AO แตกต่างจากปีฐานระหว่าง 3.6%-14.4% และ CORDEX แสดงผลระหว่าง 3.4%-11% สำหรับปริมาณรายเดือน โดยแบ่งเป็นช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-ตุลาคม) ฤดูน้ำน้อย (พฤศจิกายน-กรกฎาคม) พบว่ากลุ่ม HadGEM2 AO แตกต่างระหว่าง 51.1%-109.1% และ CORDEX แสดงปริมาณใกล้เคียงปีฐานระหว่าง 5.4%-29.7% ซึ่งผลลัพธ์ชี้ให้เห็นว่าแบบจำลอง CORDEX ให้ค่าปริมาณฝนที่ใกล้เคียงสูงกว่ากลุ่ม HadGEM2 AO

สำหรับการคาดการณ์ปริมาณฝนในอนาคตระหว่าง พ.ศ.2563-2593 (31 ปี) เมื่อพิจารณาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในอนาคตของพื้นที่อ่างเก็บน้ำทั้งสองแห่ง พบว่ากรณี RCP4.5 มีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1,044.2 มม.-1,441.3 มม. โดยแบบจำลอง GCM ทั้ง 2 กลุ่มจะแสดงค่าเฉลี่ยรายปีและแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของปริมาณฝนที่สูงกว่าปีฐาน (3.2%-4.5%) และกรณี RCP8.5 มีค่าปริมาณฝนเฉลี่ยรายปีระหว่าง 1,100.3 มม.-1,320.7 มม. ซึ่งสูงกว่าปีฐานเพียงเล็กน้อย (0.6%-1.3%) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาการ

เปลี่ยนแปลงตามรายฤดูกาลแล้วนั้น พบว่าในช่วงฤดูฝน (สิงหาคม-ตุลาคม) กลุ่ม HadGEM2 AO แสดงค่าต่ำกว่าปีฐาน ในทางตรงกันข้าม ช่วงฤดูน้ำน้อย (พฤศจิกายน-กรกฎาคม) ปริมาณฝนในอนาคตมีค่าสูงกว่าปีฐาน โดยมีเฉพาะ CORDEX SEA MPI ESM MR เท่านั้นที่แสดงค่าปริมาณฝนรายเดือนสอดคล้องกับปีฐานในทั้ง 2 กรณีคาดการณ์ ทั้งนี้ ผลการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่าแนวโน้มปริมาณฝนรายเดือนหรือรายฤดูกาลนั้น มีความสำคัญต่อการเลือกแบบจำลอง GCM มาประยุกต์ใช้ เช่น ในช่วงฤดูแล้งแต่มีปริมาณฝนสูง อาจพิจารณาใช้กลุ่ม HadGEM2 AO ในขณะที่ปีที่มีสถานการณ์ปกติสามารถพิจารณาใช้ CORDEX เพื่อคาดการณ์

เนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการทดลองนำเอาข้อมูลปริมาณฝนที่จัดเก็บได้อย่างสมบูรณ์ในพื้นที่ศึกษาจำนวน 10 ปี นำมาใช้เป็นข้อมูลปีฐาน ซึ่งพบว่าสภาพปริมาณฝนที่เกิดขึ้นจริงในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ มีความผันผวนและแตกต่างกันอย่างมาก เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความแตกต่างเชิงปริมาณระหว่างข้อมูลในอนาคตจำนวน 31 ปี หรือเชื่อมโยงกับข้อมูลคาดการณ์เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องในลักษณะอนุกรมเวลาแล้วนั้น หากสามารถจัดหาข้อมูลปริมาณฝนในช่วงเหตุการณ์ในอดีตที่ยาวนานขึ้น หรืออย่างน้อยมีปริมาณเท่ากับช่วงเวลาที่เกิดการคาดการณ์นั้น (ประมาณ 30 ปี หรือมากกว่า) คาดว่าจะทำให้การวิเคราะห์ในประเด็นต่าง ๆ มีความน่าเชื่อถือและเพิ่มความเชื่อมั่นสูงขึ้น นอกจากนี้ การประยุกต์ใช้เทคนิคการนำเสนอผลลัพธ์การ

เปลี่ยนแปลงปริมาณฝนในรูปแบบของแผนที่เชิงพื้นที่ในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ยังจะช่วยให้การสื่อสารและการทำความเข้าใจระหว่างผู้วิจัยและผู้ใช้ประโยชน์ได้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากสามารถชี้ให้เห็นถึงตำแหน่งที่ได้รับผลกระทบได้อย่างชัดเจน เช่น ปริมาณฝนต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในพื้นที่ใด หรืออยู่ในช่วงเวลาใด เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ระเบียบวิธีและผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ คณะผู้วิจัยคาดหวังว่าจะสามารถนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลต่อหน่วยงานภาครัฐและประชาชนผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียในพื้นที่ศึกษาหรือใกล้เคียงให้สามารถปรับตัวเพื่อรับมือกับสถานการณ์การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในอนาคต รวมถึงการกำหนดมาตรการเพื่อลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกให้มีการบูรณาการร่วมกับบริหารจัดการทรัพยากรน้ำในลุ่มน้ำได้อย่างยั่งยืนในอนาคต

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตขอนแก่น ที่ได้ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่สำหรับการทำวิจัย ขอขอบคุณสถาบันสารสนเทศทรัพยากรน้ำ (องค์การมหาชน) และศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลปริมาณฝนจากแบบจำลอง GCM และข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดสำหรับนำมาใช้ในการศึกษานี้จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] เอกสารวิชาการ เลขที่ 551.577.3-01-2559 (2559). การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและปริมาณฝนจากการคาดการณ์การเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศในอนาคต. ศูนย์ภูมิอากาศ กรมอุตุนิยมวิทยา.
- [2] Chaowiwat W., Sarinnapakorn K., Weesakul S. (2019). Future changes in extreme rainfall over Thailand using multi-bias corrected GCM rainfall data. *Journal of Climate Change Science*. 9, 31-53.
- [3] อภิมุข มุขตารี, ทิชา โลสุพิมาน, อีรพล เจริญสุข, สติธย์ จันทร์ทิพย์, ปิยะมาลย์ ศรีสมพร. (2563). การศึกษาดัชนี CSI ที่ทำให้เกิดฝนพายุความร้อน (Convective rain) สำหรับการเตือนภัยน้ำท่วมฉับพลัน. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25, 15-17 กรกฎาคม 2563, ชลบุรี.

- [4] Ferguson, C. R., Pan, M., Oki, Taikan, 2018: The Effect of Global Warming on Future Water Availability: CMIP5 Synthesis. *Water Resources Research*, 54, 7791-7819, DOI:10.1029/2018wr022792.
- [5] Sam T.T., Khoi D.N., Thao N.T.T., Nhi P.T.T., Quan N.T., Hoan N.X., Nguyen V.T. (2018). Impact of climate change on meteorological, hydrological and agricultural droughts in the Lower Mekong River Basin: a case study of the Srepok Basin, Vietnam. *Water and Environment Journal*. 0(2018), 1-13, DOI: 10.1111/wej.12424.
- [6] Chaowiwat W., Boonya-aroonnet S., Weesakul S. (2016). Impact of climate change assessment on agriculture water demand in Thailand. *Naresuan University Engineering Journal*. 11(1), DOI:10.14456/nuej.2016.6.
- [7] สุจิตต์ คุณธนกุลวงศ์, พงษ์ศักดิ์ สุทธิอินทร์, ปิยะธิดา เรืองรัมย์, โชคชัย สุทธิธรรมจิต, วิชิตา เหมเสถียร. (2560). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงและความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศในอนาคตความถี่ของแล้งและพายุและการปรับตัวของภาคส่วนที่สำคัญ. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [8] Sharma D., Babel M.S. (2018). Assessing hydrological impacts of climate change using bias-corrected downscaled precipitation in Mae Klong basin of Thailand. *Meteorological Applications*. 25, 384-393, DOI: 10.1002/met.1706.
- [9] Wuthiwongtyohtin S. (2020). Investigating statistical bias correction with temporal subsample of the upper Ping River Basin, Thailand. *Journal of Water and Climate Change*. DOI:10.2166/wcc.2020.021.
- [10] Zhan W., He X., Sheffield J., Wood E.F. (2020). Projected seasonal changes in large-scale global precipitation and temperature extremes based on the CMIP5 Ensemble. *Journal of Climate*. 33, 5651-5671, DOI:10.1175/JCLI-D-19-0311.1.